

Ponašanje hridinskog ježinca (*Paracentrotus lividus*) u prisustvu znakova predatorstva

Prpić, Paula

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:030351>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-25**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Paula Prpić

**Ponašanje hridinskog ježinca (*Paracentrotus
lividus*) u prisustvu znakova predatorstva**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb

Faculty of Science
Department of Biology

Paula Prpić

Behavior of purple sea urchin (*Paracentrotus lividus*) under the influence of predation cues

Master thesis

Zagreb, 2022.

Ovaj rad je izrađen na Zoologijskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu pod voditeljstvom Izv. prof. dr. sc. Petra Kružića. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja Magistra znanosti o okolišu.

Zahvale

Ovim putem zahvaljujem se svom mentoru Petru Kružiću, na ukazanoj stručnoj pomoći i vodstvu tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se Hrvoju Čižmeku što mi je omogućio izradu rada i istraživanje na Silbi i na usmjeravanju i pomoć u obradi podataka i pisanju.

Hvala Mladenu, Miji, Loreni i Nikolini na konstantnom motiviranju, čitanju i ispravljanju i savjetima za pisanje.

Hvala svima koji su posredno i neposredno sudjelovali u ostvarivanju ovog rada.

Hvala svim prijateljima i kolegama iz BIUS-a i s fakulteta koji su uljepšali moje studentske dane.

Hvala mojoj obitelji za svu podršku i poticanje za vrijeme cijelog studiranja.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

Ponašanje hridinskog ježinca (*Paracentrotus lividus*) u prisustvu znakova predatorstva

Paula Prpić

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Hridinski ježinac, *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) jedna je od najčešćih vrsti ježinaca u Jadranskom moru i bitan dio ekosustava sublitorala. Dijeli životni prostor s mnogim predatorskim vrstama. Cilj istraživanja bio je ispitati kretanje i obrasce ponašanja hridinskog ježinca pod utjecajem predatorstva. Istraživanje je provedeno na otoku Silbi početkom listopada. Jedinke su bile podijeljene u tri skupine: dvije pokusne i kontrolnu. Prvoj pokusnoj skupini dodavana je voda iz akvarija s predatorom, kvrgavom zvjezdačom, *Marthasterias glacialis* (Linnaeus, 1758), a drugoj voda iz akvarija s razbijenim hridinskim ježincem, na način kako ga razbiju predatorske ribe. Utvrđene su razlike u kretanju i ponašanju među pokusnim skupinama, ali i naspram kontrolne. Skupina kojoj je dodavana voda s kemijskim signalima razbijenog ježinca najviše se kretala, ali najbrže se krenula kretati druga pokusna skupina prilikom drugog dodavanja vode s kemijskim signalom zvjezdače. Kod ponašanja je utvrđeno nekoliko karakterističnih obrazaca: pomicanje bodlji i ambulakralnih nožica, kretanje po dnu, stijenkama akvarija i kamenju, skrivanje u kamenju i mirovanje. Obrasci su različito zastupljeni među skupinama, ali ukazuju na zaključak da dodavanje kemijskih signala razbijene jedinke iste vrste stvara ježincima jači stres nego kemijski signali zvjezdače.

(35 stranice, 14 slika, 1 tablica, 46 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: odnos plijen-predator, kemijski signali, Jadransko more, predatorske ribe, kvrgava zvjezdača, ponašanje životinja, akvarij

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Petar Kružić

Ocjenitelji:

Izv. prof. dr. sc. Petar Kružić

Doc. dr. sc. Kristina Pikelj

Prof. dr. sc. Ivana Maguire

Izv. prof. dr. sc. Neven Bočić

Rad prihvaćen: 23.2.2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Master Thesis

Behavior of purple sea urchin (*Paracentrotus lividus*) under the influence of predation cues

Paula Prpić

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

The purple sea urchin, *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816), is one of the most common sea urchin species in the Adriatic Sea. It has an important role in sublittoral ecosystems. It shares its habitat with many different predators. The aim of this thesis was to test movement and behaviour under predation stimuli. The experiment was done on Silba Island in October. Individuals were divided into three groups: two experimental and a control. The first experimental group was exposed to chemical signals from a spiny starfish, *Marthasterias glacialis* (Linnaeus, 1758). The second group was treated with chemical signals from a shattered conspecific individual. It was shattered like after a predatory fish attack. Differences were observed between both experimental groups and compared to the control. The group treated with chemical signals from shattered individuals moved the most, but the starfish-treated group was the quickest to move after the second exposure. Some characteristic behaviour patterns were spine or ambulacral legs movement, moving along the bottom, along aquarium walls or rocks, hiding within rocks and staying motionless. Patterns are differently distributed among groups, but it's indicated that chemical signals from shattered individuals cause more stress among sea urchins than chemical signals from spiny starfish.

(35 pages, 14 figures, 1 table, 46 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Keywords: predator-prey relationship, chemical signals, Adriatic Sea, predator fish, spiny starfish, animal behaviour, aquarium

Supervisor: Assoc. Prof. Petar Kružić

Reviewers:

Assoc. Prof. Petar Kružić

Asst. Prof. Kristina Pikelj

Assoc. Prof. Neven Bočić

Prof. Ivana Maguire

Thesis accepted: 23.2.2022.

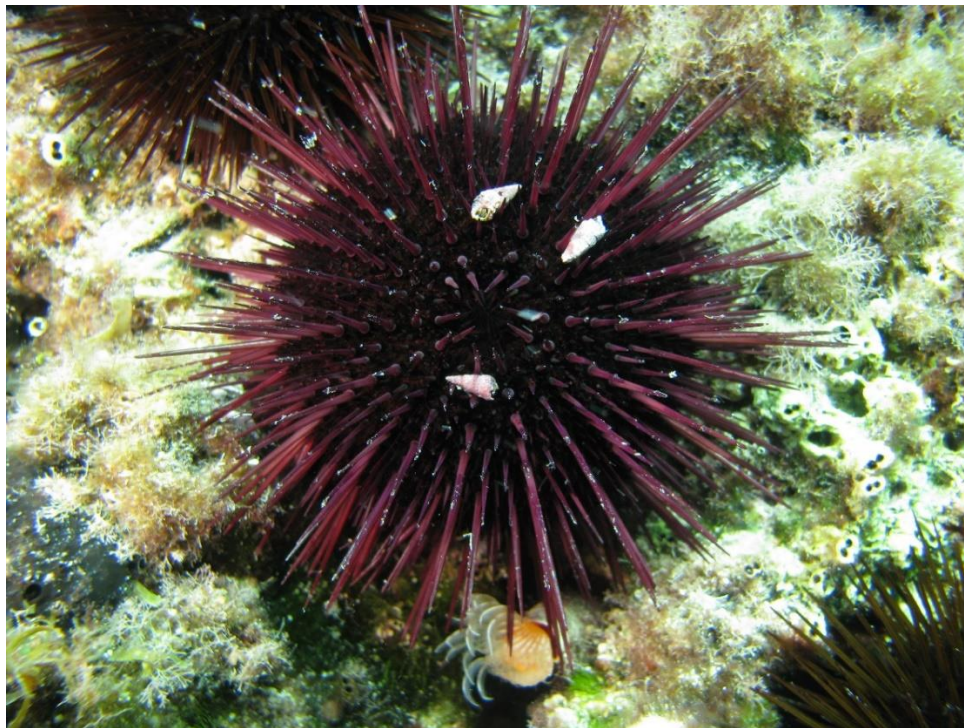
Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Ježinci	1
1.2. Biologija ježinaca	2
1.3. Hridinski ježinac.....	3
1.4. Predatorstvo nad ježincima.....	4
1.4.1 Najčešći predatori.....	4
1.5. Kemijski signali i reakcije	8
1.6. Područje istraživanja – otok Silba	9
2. Cilj istraživanja	10
3. Materijali i metode.....	11
4. Rezultati	15
4.1. Vrijeme do prvog pomaka nakon dodavanja vode	15
4.2. Pomak po skupinama.....	16
4.3. Brzine po skupinama	17
4.4. Odnos veličine i pomaka	18
4.5. Najčešći obrasci i razlike u ponašanju po skupinama	19
5. Rasprava	23
5.1. Pomak.....	23
5.2. Ponašanje.....	25
6. Zaključci	27
7. Literatura.....	28
8. Životopis.....	33

1. Uvod

1.1. Ježinci

Ježinci (Echinoidea) su razred unutar koljena bodljikaša, Echinodermata (Habdija i sur. 2011), uz još pet danas živućih razreda: Holothuroidea (trpovi), Asteroidea (zvjezdače), Ophiuroidea (zmijače), Crinoidea (stapčari) i Concentricycloidea. Ježinaca je zabilježeno preko tisuću vrsta. Podijeljeni su u dva podrazreda: Cidaroidea – primitivniji, kojeg čini samo jedan red s oko 150 vrsta (Habdija i sur. 2011), i Euechinoidea, kojeg čini 17 redova i oko 800 vrsta (Smith i Kroh 2013). Podrazred Euechinoidea tradicionalno se dijeli na pravilnjake, Regularia, i nepravilnjake, Irregularia (Habdija i sur. 2011). Najraniji pronađeni fosili potječu iz gornjeg ordovicija, prije oko 460 milijuna godina (Black 1988). Nađeni su istovremeno s najranijim fosilima trpova, nešto kasnije nakon zmijača, zvjezdača i stapčara (Smith i Kroh 2013). U Jadranskom moru živi 21 vrsta, među kojima su najčešći hridinski ježinac *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) (Slika 1), crni ježinac *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) i ljubičasti ježinac *Sphaerechinus granularis* (Lamarck, 1816).



Slika 1. Hridinski ježinac (autor: Hrvoje Čižmek)

1.2. Biologija ježinaca

Oblik tijela je relativno pentaradijalan. Podupire ga čvrsti unutarnji kostur (endoskelet). Njihov izgled karakteriziraju oštre bodlje koji im omogućuju kretanje, učvršćivanje u podlogu i obranu. Dio su endoskeleta. Nastaju iz vezivnog tkiva i pokrivene su tankom epidermom. Ponekad su šuplje i kod nekih vrsta mogu sadržavati otrov (Miller i Harley 2001). Bodlje na bazalnom dijelu imaju udubljenje u koje je pričvršćena zglobna kvržica na pločicama čahure. Pokretanje bodlji u svim smjerovima moguće je zbog sloja mišića na bazi bodlja ispod epiderma, koji je može selektivno kontrahirati (Habdija i sur. 2011). Sloj kolagenskih niti ispod mišića omogućuje vrlo čvrsto fiksiranje bodlji u jednom položaju. Osim bodlji, ježince karakterizira i ambulakralni, tj. vodožilni sustav (Miller i Harley 2001). To je sustav kojeg čini niz funkcionalnih kanala za strujanje vode. Počinje madreporom pločom na koju se nadovezuje kalcificirani kameni kanal, koji se združuje s prstenastom cijevi. Iz svake prstenaste cijevi izlazi pet radijalnih kanala koji završavaju svaki svojim ticalom. Bočni kanali se pružaju s bočne strane radijalnih i oni završavaju ampulom i ambulakralnom nožicom (Habdija i sur. 2011). Ambulakralne nožice imaju prijanjalke za prihvaćanje za podlogu, ali imaju ulogu i u sustavima za disanje, izlučivanje i osjetilnom sustavu (Miller i Harley 2001). Živčani sustav sastoji se od živčanog prstena iz kojeg izlaze radijalni živci. Osjetilne stanice nalaze se u epitelu. Najbrojnije su u bodljama i ambulakralnim nožicama (Habdija i sur. 2011).

Imaju bitnu ulogu u morskim hranidbenim lancima i cijelom ekosustavu. Biljojedi su i aktivno se hrane algama, a kontrola primarnih proizvođača ispašom je ključna za bioraznolikost morskih sustava (Bonaviri i sur. 2011, Sala i Zabala 1996). Nedostatak predatorskih vrsti nad ježincima na nekom području uzrokuje povećanje brojnosti ježinaca, što u konačnici dovodi do prekomjernog konzumiranja algi (Ling i sur. 2015). Takva destruktivna ispaša uzrokuje degradaciju staništa, koju je kasnije vrlo teško obnoviti (Boudouresque i sur. 2016). Taj tip devastiranog staništa s velikom brojnošću ježinaca i nedostatkom algi naziva se golobrst i nepogodan je u morskim sustavima, jer uzrokuje smanjenje bioraznolikosti (Scheibling i sur. 1999).

1.3. Hridinski ježinac

Hridinski ježinac tipična je sublitoralna vrsta sa širokim područjem rasprostranjenosti. Nastanjuje Sredozemno more i sjeveroistočni dio Atlantskog oceana od Škotske i Irske na sjeveru, do Maroka i Kanarskih otoka na jugu, uključujući Azorske otoke (Boudouresque i Verlaque 2001, Despalatović i sur. 2009). Živi na dubinama do 10 – 20 metara. Ponekad nastanjuju i mediolitoralnu ili infralitoralnu zonu, u rupama u stijenama ispunjenima morskom vodom, ali te jedinke budu podložnije ugibanju zbog hladnoće za vrijeme hladnijih zima. Gornja granica dubinskog raspona određena je linijom najnižeg spuštanja oseke, iznad koje dolazi do isušivanja (Boudouresque i Verlaque 2001). U Jadranskom je moru karakteristična vrsta priobalnog plitkog područja. Nastanjuje stjenovita dna, gdje često bude zavučen u pukotine stijena. Također živi i u livadama morskih cvjetnica *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile i *Zostera marina* Linnaeus (Cardoso i sur. 2020, Ruitton i sur. 2000). Solitarne jedinke rijetko se mogu naći na izdvojenom kamenju na pjeskovitim dnima, kao i na dubinama do 80 metara. Ličinke mogu biti nošene morskim strujama do preko nekoliko stotina metara dubine, ali odraslih nema tako duboko (Pedrotti i Fenaux 1992). Juvenilne jedinke, promjera manjeg od dva centimetra, ugroženije su od napada predatora (Sala i Zabala 1996). Zbog toga gotovo trajno nastanjuju rupe i pukotine unutar stijena i ispod šljunka, skrivajući se ispod i unutar gustih naslaga algi i posidonije (Farina i sur. 2009). Odrasle jedinke češće izlaze iz skrovišta u potragu za hranom, ovisno o njihovoj veličini i prisutnosti predatora. Gustoće populacija mogu varirati od nekoliko jedinki do nekoliko desetaka jedinki po kvadratnom metru, neovisno o dubinama i području rasprostranjenosti (Lawrence Miller 2001, Turon i sur. 1995). Guste populacije (50 – 100 jedinki/m²) ipak su karakterističnije za plića staništa i blaže nagibe stijena, šljunka ili morskih bazena (Boudouresque i Verlaque 2001).

Iako su prvenstveno aktivni noću, može doći do promjena aktivnosti u prisutstvu predatora koji su također aktivni noću, poput zvjezdača. Tada prelaze na dnevnu aktivnost. Kreću se u potrazi za hranom ili da pobjegnu od predatora (Boudouresque i Verlaque 2001). Smjer kretanja je u pravilu nasumičan, ali može biti pod utjecajem turbulencije vode. Za vrhunca aktivnosti u danu mogu se kretati brzinama oko 40 cm/h, a kroz 24 sata napraviti ukupan pomak od 4,8 metara, ali prosječno se kreću oko 50 cm dnevno. Udaljenosti koje prelaze ne ovise o veličini jedinke, dubini niti godišnjem dobu (Boudouresque i Verlaque 2001). Jedan od čimbenika koji utječu na prijeđene udaljenosti je supstrat – npr. u posidoniji se kreću znatno sporije u usporedbi sa stjenovitom

podlogom (Boudouresque i sur. 2016). Drugi čimbenik je strujanje vode – pri turbulencijama i jačem strujanju aktivnost je smanjena, a pri znatnijim turbulencijama jedinke niti ne izlaze iz skrovišta. Dan-dva mogu biti potpuno neaktivni (Boudouresque i Verlaque 2001).

Narastu do 7,5 cm u promjeru (Tomšić i sur. 2010, Turon i sur. 1995). Boja im može varirati, ali ne ovisi o veličini jedinke, niti o dubini na kojoj živi. Mogu biti crnoljubičasti, crvenosmeđi, tamnosmeđi, žutosmeđi, svijetlosmeđi ili maslinasto zeleni. Ponekad po sebi imaju krhotine školjaka ili komadiće algi (Barnes i Crook 2001). Najčešće se hrane algama, ali su prilagodljivi na različitu ishranu (Levitan 1991). Rast je pod izravnim utjecajem temperature – nije zabilježen na temperaturama nižim od 4°C i višim od 28°C. Na njega također utječe i kvaliteta hrane (Fernandez i Pergent 1998). Životni vijek im je 13 godina. Češće ugibaju od starosti nego zbog predatorstva. Smrtnost je najveća tijekom prve godine života. Od druge do četvrte godine života smrtnost je niža, a između šeste i devete opet poraste (Boudouresque i Verlaque 2001).

1.4. Predatorstvo nad ježincima

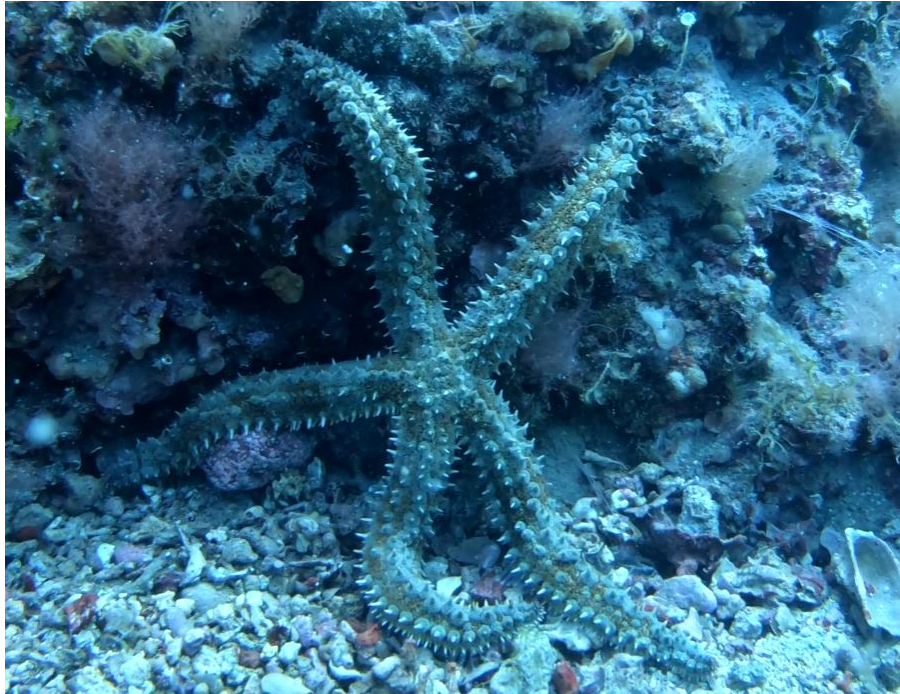
Predatorstvo je vrlo važan ekološki proces za upravljanje strukturama i funkcijama ekosustava. Ježinci su dio zajednice kamenitih podloga (Valentine i Duffy 2006). Predatori ježinaca utječu na njihovu veličinu, brojnost, hranjenje i ponašanje, a samim time i velik utjecaj na strukture zajednica kamenitih podloga (Bulleri i sur. 2002, Guidetti 2004). Neki od poznatih predatora ježinaca, prvenstveno hridinskog, su ribe, najviše vrste *Sparus aurata* (Linnaeus, 1758), *Diplodus sargus* (Linnaeus, 1758), *Diplodus vulgaris* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817), koji se hrane ježincima svih veličina, te *Coris julis* (Linnaeus 1758) i *Thalassoma pavo* (Linnaeus 1758), koji prvenstveno love juvenilne jedinke (Sala 1997, Sala i Zabala 1996). Osim riba, predatori ježinaca su i zvjezdača *Marthasterias glacialis* (Linnaeus, 1758), puž *Hexaplex trunculus* (Linnaeus, 1758), te rak *Maja crispata* (Risso, 1827). Nekoliko vrsta ih razbije i jede, dok se neke hrane samo ostacima već razbijenih ježinaca (Sala i Zabala 1996).

1.4.1 Najčešći predatori

Od mnogobrojnih predatora, nabrajam kvrgavu zvjezdaču jer je korištena u istraživanju, i najčešće i najbrojnije vrste riba viđene tokom ronjenja i sakupljanja jedinki.

Kvrgava zvjezdača – *Marthasterias glacialis* (Linnaeus, 1758)

Kvrgava zvjezdača (Slika 2) je vrsta iz porodice Asteroiidae, veličine do 80 cm u promjeru. Živi na dubinama do 180 metara, ispod stijena i u pukotinama, prvenstveno na tvrdim, ali i na muljevitim podlogama. Uvijek ima pet krakova. Na svakom ima tri dužinska reda bodlji i jednu veliku bodlju na leđnoj ploči. Mlade jedinke su smeđe do maslinastozelene, a odrasle su crvenkaste ili smeđe boje s bijelim mrljama (Prvan i Jakl 2016).



Slika 2. Kvrgava zvjezdača (autor: Paula Prpić)

Šarag – *Diplodus sargus* (Linnaeus, 1758)

Šarag (Slika 3) je vrsta iz porodice ljuskavki (Sparidae), veličine 20 – 25 cm. Nastanjuje hridinaste obale s procjepima i rupama. Živi na dubinama do 50 m. Srebrnastosive je boje sa šest do osam uspravnih crnih pruga koje su kod starijih jedinki slabije izražene. Ima crne obode neparnih peraja. U Jadranu je prisutan duž cijele obale, ali nije brojan. Živi u grupama (Jardas 1996, Jardas i sur. 2008, Prvan i Jakl 2016).



Slika 3. Šarag (autor: Hrvoje Čižmek)

Fratar – *Diplodus vulgaris* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817)

Fratar (Slika 4) je vrsta iz porodice ljuskavki (Sparidae), veličine 12 – 20 cm. Nastanjuje priobalno područje, pri čemu starije jedinke žive uglavnom na hridinastim dnima. Nalazi se na dubinama do 100 metara, no uglavnom je na 5 – 20 m. Zadržavaju se u grupama. Žuto ili zelenkasto sive je boje s dva crna pojasa – jednim na vratu i drugim na repnom dršku. Na boku ima vodoravne zlatnožute pruge, a stražnji obod repne peraje je crn. U Jadranu je rasprostranjen duž cijele obale (Jardas 1996, Jardas i sur. 2008, Prvan i Jakl 2016).



Slika 4. Fratar (autor: Hrvoje Čižmek)

Knez – *Coris julis* (Linnaeus, 1758)

Knez (Slika 5) je vrsta iz porodice usnača (Labridae), veličine 10 – 20 cm. Nastanjuje hridinasta i pjeskovita dna, kao i livade posidonije (*P. oceanica*). Nalazi se na dubinama do 60 metara. Nekad živi u manjim grupama s vrstom *Thalassoma pavo*. Ženke i juvenilni mužjaci su smeđe, crvenkastosmeđe ili maslinastosmeđe boje s leđne strane i bijelosive s trbušne, sa žutom prugom na bočnoj strani. Odrasli mužjaci su maslinastozelene do smeđe boje s narančastom ili ružičastom prugom s bočne strane, modrom pjegom na škržnom poklopcu i plavom prugom iza oka. U Jadranu je rasprostranjen duž cijele obale (Jardas 1996, Prvan i Jakl 2016).



Slika 5. Knez (autor: Hrvoje Čižmek)

Vladika arbanaška – *Thalassoma pavo* (Linnaeus, 1758)

Vladika (Slika 6) je vrsta iz porodice usnača (Labridae), veličine 10 – 20 cm. Nastanjuje stjenovitu obalu obraslu algama i livade morskih cvjetnica. Živi na dubinama do 150 metara, no uglavnom se nalazi na dubinama do 50 m. Solitaran je, ili živi u manjim grupama s ostalim ribama iz porodice Labridae. Kao i kod vrste *Coris julis* postoji spolni dimorfizam: mužjaci su zelenkasti s uspravnim crvenom prugom na svakoj ljustici i modrim pojasom između leđne i prsne peraje obrubljen crvenim prugama. Ženke imaju brojne tamne okomite crte i pet okomitih plavih pojaseva. I mužjaci i ženke imaju modre i crvene pruge na perajama. Glava im je smečkasta s plavim šarama, jednake visine

ili kraća od visine tijela. Ima malena usta sa zubima poredanima u jednom nizu (Jardas 1996, Prvan i Jakl 2016).



Slika 6. Vladika arbanaška (autor: Hrvoje Čižmek)

Kvrgavi volak – *Hexaplex trunculus* (Linnaeus, 1758)

Kvrgavi volak vrsta je puža veličine do 13 cm. Nastanjuje čvrste podloge obrasle algama, ali i muljevita dna u infralitoralnoj i cirkalitoralnoj zoni. Nalazi se na dubinama od dva do 50 metara. Ima čvrstu kvrgavu kućicu uvijenog oblika s tri ili četiri navoja i izduženim kanalom. Uglavnom je zelenkastosive ili svijetlosmeđe boje s tamnim spiralnim prugama (Prvan i Jakl 2016).

1.5. Kemijski signali i reakcije

Uspješno pravovremeno prepoznavanje predatora od velike je važnosti za preživljavanje jedinke, jer joj omogućuje bijeg i skrivanje (Chivers i Smith 1998). Jedinke mogu imati različite reakcije na različite predatore (Hirsch i Bolles 1980). Morske životinje koriste kemijske signale za snalaženje u okolišu na mnogo načina, između ostalog i za prepoznavanje predatora (Wisenden 2000). Kemijski su signali vrlo pogodni mehanizam snalaženja u morskom okolišu, pogotovo u uvjetima smanjene vidljivosti i za organizme s rudimentarnim fotoreceptorima poput ježinaca, jer mogu brzo difundirati kroz vodu (Campbell i sur. 2001). Osim samog mirisa predatora, kemijski

signali koji životinjama ukazuju na prisutnost predatora mogu biti i od ozlijeđenih ili pojedenih jedinki iste vrste (Chivers i Smith 1998). Prethodna istraživanja na vrstama *Echinometra lucunter* (Morishita i Barreto 2011), *Strongylocentrotus droebachiensis* (Hagen i sur. 2002) i još nekoliko vrsti (Campbell i sur. 2001) pokazala su da ježinci reagiraju na kemijske signale promjenama u ponašanju (Morishita i sur. 2009). Obrasci ponašanja u stresnim uvjetima bili su ispužanje ambulakralih nožica i pomicanje bodlji (Morishita i Barreto 2011).

1.6. Područje istraživanja – otok Silba

Silba je dio zadarskog otočja. Nalazi se između Lošinja, Oliba i Premude. Ime je dobila od latinskog naziva na šumu, *silva*. Prekrivena je šumama crnike i bora, makijom, aromatičnim i ljekovitim biljem. Površina otoka je 14,27 km², a najviši vrh visok je 83 m. Duljina obale je 26,2 km, te s koeficijentom razvedenosti 2,0 spada pod nerazvedene otoke. Geološku građu čine kredni vapnenci i eocenski lapori (LZMK 2021). Klima na otoku je sredozemna s vrućim ljetima, najčešći vjetrovi su bura i jugo, a hod padalina je maritimni (Vučetić i Vučetić 1997).

2. Cilj istraživanja

Cilj ovog diplomskog rada je proučavanje kretanja i ponašanja hridinskog ježinca u stresnim uvjetima uzrokovanim predatorstvom, točnije:

- reagiraju li ježinci na kemijske signale predatorstva,
- reagiraju li ježinci različito na različite vrste kemijskih signala predatorstva, tj. različite vrste predatora,
- utječu li kemijski signali predatorstva na promjene obrazaca ponašanja,
- utječe li veličina jedinke na odgovor na prisutnost kemijskih signala predatorstva.

3. Materijali i metode

3.1. Postav eksperimenta

Svi ježinci i zvjezdača izronjeni su na jugozapadnoj obali Silbe (Slika 7). Smješteni su i promatrani u laboratoriju blizu mjesta uzorkovanja, na vanjskoj temperaturi i prirodnoj svjetlosti. Ježinci su smješteni pojedinačno u većim plastičnim akvarijima (50 l), a zvjezdača u manjem (33 l). U akvarije je postavljeno kamenje s algama, koje im omogućuje skrivanje i hranjenje *ad libitum*, pumpe za zrak i morska voda. Temperatura vode u akvarijima i zraka kontinuirano je mjerena i bilježena data-loggerom svakih 10 min za vrijeme cijelog istraživanja. Sveukupno je korištena 34 jedinka ježinca i jedna jedinka zvjezdače. Svim ježincima izmjeren je promjer analognom pomičnom mjerkom na najširem dijelu čahure.

Pokus se sastojao od dva dijela. U prvom je praćeno kretanje i ponašanje hridinskih ježinaca *P. lividus* nakon dodavanja vode iz akvarija u kojem je bila kvrgava zvjezdača *M. glacialis*. U drugom dijelu dodana im je voda iz akvarija u kojem je razbijena jedna jedinka hridinskog ježinca, na način kako ga predatori razbiju – okrenut je na aboralnu stranu, udaren prema dnu i raskomadani, kako bi se utvrdilo reagiranje na kemijske signale ozlijeđene jedinke iste vrste.

3.2. Tijek eksperimenta

U prvom dijelu pokusa korišteno je ukupno 18 ježinaca: devet u pokusnoj i devet u kontrolnoj skupini, te jedna zvjezdača. Provođen je kroz tri dana, odnosno tri mjerenja na setovima od šest jedinki – tri u kontrolnoj i tri u pokusnoj skupini po danu. Prvi dan pokusa postavljeni su akvariji i izronjeni su zvjezdača i prvih šest ježinaca. Postavljeni su u akvarije i ostavljeni jedan dan da se prilagode na novo okruženje, pošto im samo prebacivanje u akvarij može biti stresno i utjecati na kretanje i ponašanje (Morishita i Barreto 2011). Idući dan, nakon perioda prilagodbe, u svaki akvarij pokusne skupine dodano je 2,5 l vode iz akvarija sa zvjezdačom, a u akvarij kontrolne skupine nije. Sat vremena nakon prvog dodavanja vode, dodano je još 2,5 l u svaki akvarij pokusne skupine. Kretanje i ponašanje bilježeno je na isti način kao i nakon prvog dodavanja vode. Nakon zadnjeg bilježenja, ukupno dva sata nakon prvog dodavanja vode, svih šest ježinaca vraćeno je u more, akvariji su isprani i izronjeno je novih šest ježinaca koji su ostavljeni u akvarijima do idućeg dana da se prilagode, kad je opet pokusnoj skupini dodana voda iz akvarija sa zvjezdačom i praćeno

kretanje i ponašanje po istoj metodologiji kao i dan prije. Zadnji dan prvog dijela pokusa ponovljen je kompletan postupak sa zadnjim setom izronjenih jedinki, na isti način kao i za prethodne dvije.

U drugom dijelu pokusa korišteno je ukupno 16 ježinaca: devet u pokusnoj, šest u kontrolnoj skupini, te jedan koji je razbijen na način kako bi ga razbili predatori. Za ovaj dio pokusa sva promatranja provedena su u jednom danu, kako bi se izbjeglo razbijanje više od jedne jedinke, što bi bilo potrebno raditi svaki dan. Kao i za prvi dio pokusa, svi izronjeni ježinci ostavljeni su na prilagodbu jedan dan i akvariji su uređeni na isti način. Nakon perioda prilagodbe, u svaki akvarij pokusne skupine dodano je 2,5 l vode iz akvarija s razbijenim ježincem. Kretanje i ponašanje bilježeno je svake minute tijekom prvih 15 minuta te po jednom nakon ukupno 30, 45 i 60 minuta od prvog dodavanja vode (također 18 zabilješki po ježincu). Sat vremena nakon prvog dodavanja vode, dodano je još 2,5 l u svaki akvarij pokusne skupine. Kretanje i ponašanje bilježeno je na isti način kao i nakon prvog dodavanja vode.

3.3. Mjerenje ponašanja

Kretanje je praćeno pomakom kroz mrežu s poljima veličine 10×10 cm po dužini, širini i dubini akvarija, pa se prijelaz kroz polja računao kao pomak za 10 cm. Osim položaja u polju bilježen i je položaj ježinca s obzirom na dno akvarija na način da je pozicija od usta prema dnu do kuta 90° u odnosu na dno akvarija označena kao „položaj 1“, pozicija držanja za bočnu stijenku akvarija, odnosno točno 90° , kao „položaj 2“, a pozicija od 90° do ustima prema površini kao „položaj 3“ (Slika 8). Kretanje i ponašanje bilježeno je svake minute tijekom prvih 15 minuta nakon dodavanja vode te po jednom nakon ukupno 30, 45 i 60 minuta od dodavanja vode (sveukupno 18 zabilješki po ježincu). Pomak za jedno polje je računao ako je preko pola tijela jedinke bilo preko crte polja. Osim kretanja, od interesa je bilo i vrijeme do prvog pomaka. Za ovaj parametar bilježeno je koliko je vremena prošlo od pojedinog dodavanja vode do prvog prelaska u drugo polje za svaku jedinku. Brzina je izračunata u cm/h, dijeljenjem ukupnog pomaka svake jedinke s ukupnim vremenom. Svaku minutu zabilježeno je dominantno ponašanje za tu minutu, tj. uvijek samo jedan tip ponašanja po zabilješki. Bilježena su sva ponašanja i kategorizirana u sedam najčešćih kategorija i kategoriju „ostalo“, a to su: mirovanje, kretanje po stijenama akvarija, kretanje po dnu, kretanje po kamenju, skrivanje u kamenju, pomicanje nekoliko bodlji, pomicanje ambulakralnih nožica i kategorija „ostalo“.

Dakle, ukupno je prikupljeno 5 tipova varijabli: 1) vrijeme do prvog pomaka, 2) ukupni pomak, 3) brzina, 4) odnos veličine jedinki i pomaka, te 5) obrasci ponašanja.

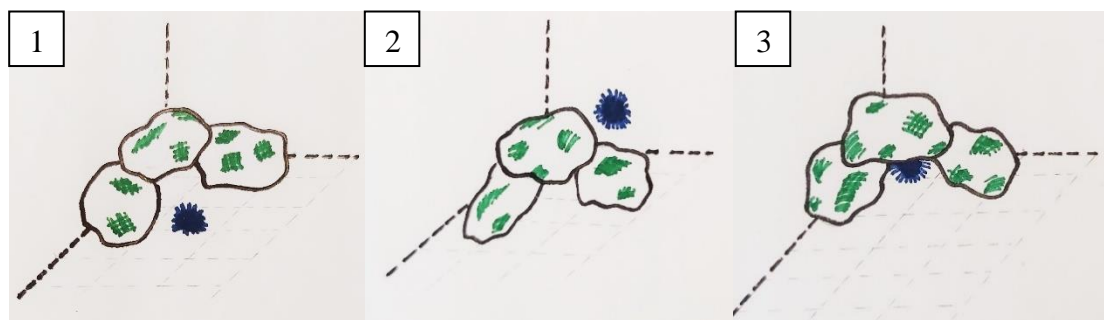
3.4. Statistička obrada

Zbog malog broja uzoraka korišteni su neparametrijski testovi. Razlike u vremenu do prvog pomaka između prvih i drugih dodavanja vode testirane su Wilcoxon Signed-Rank testom za svaku skupinu, te nakon toga Kruskal-Wallis testom za usporedbu svih skupina međusobno. Ukupni pomak za svaku jedinku izračunat je zbrajanjem svih promjena polja kroz vrijeme promatranja (2 h). Brzine su izračunate za svaku jedinku posebno, i prosječne za svaku skupinu. Razlike među skupinama testirane su Kruskal-Wallis testom, a u slučaju statistički značajnog ishoda, pristupilo se detaljnom testiranju su Mann-Whitney U testom. Odnos veličine i pomaka testiran je Spearman's Rho testom. Za razlike u obrascima ponašanja je izbrojeno koliko puta se koji obrazac ponavljao i izračunati su omjeri u postocima, oboje za svaku skupinu. Razlike među skupinama testirane su Kruskal-Wallis testom.

Osnovna obrada podataka napravljena je u MS Office Excell 2016. Statistički testovi napravljeni su koristeći *on-line* kalkulator Social science statistics calculator (SSS 2022). *Box & whiskers plot* i *scatter plot* grafovi napravljeni su u programu R 4.1.2, a prstenasti i polarni grafovi u MS Office Excell 2016. Karta je napravljena u programu QGIS 3.12.1.



Slika 7. Karta Silbe. Roza točka – lokacija laboratorija; žuta linija – lokacije sakupljanja ježinaca i zvjezdače. Podloga je digitalna ortofoto (DOF) snimka iz 2019./2020. (DGU).



Slika 8. S lijeva na desno, shematski prikaz kategorija položaja ježinca u akvariju: 1 – pozicija od usta prema dnu do kuta 90° u odnosu na dno akvarija, 2 – pozicija držanja za bočnu stijenku akvarija, odnosno točno 90° , i 3 – pozicija od 90° do ustima prema površini (npr. naopačke pričvršćen za donju stijenku uzdignutog kamena).

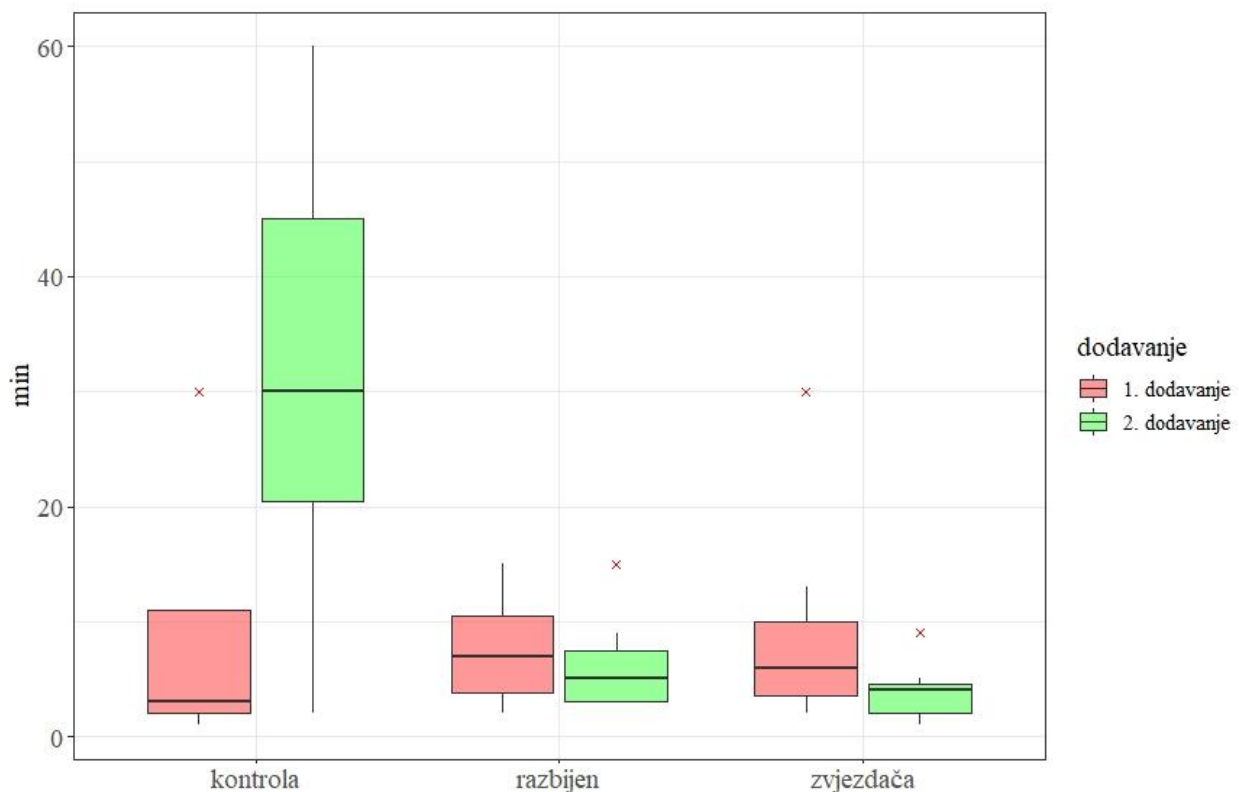
4. Rezultati

Jedinke su bile podijeljene u tri skupine: „zvjezdača“, kojoj je dodana voda iz akvarija sa zvjezdačom, „razbijen“, kojoj je dodana voda iz akvarija s razbijenim hridinskim ježincem, te kontrolna.

Temperatura vode u akvarijima je bilježena tijekom cijelog istraživanja. Izmjerene vrijednosti iznose između 16 i 21 °C, što je ježincima uobičajena temperatura za normalno funkcioniranje, te se poklapa sa vrijednostima temperature mora za to doba godine. Također, pošto su svu akvariji bili u istim uvjetima, temperatura im je bila ista.

4.1. Vrijeme do prvog pomaka nakon dodavanja vode

Vremena do prvog pomaka nakon dodavanja vode prikazana su na Slici 9.



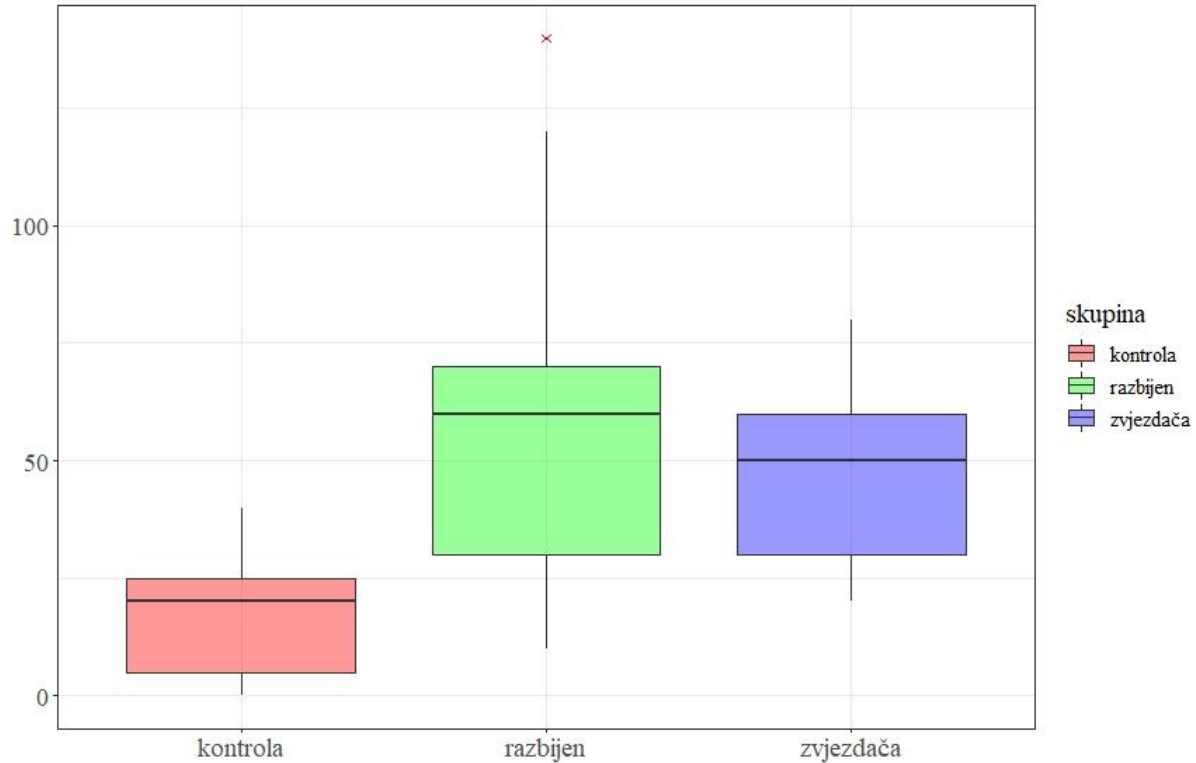
Slika 9. Vrijeme do prvog pomaka pokusnih skupina nakon prvog i drugog dodavanja vode. Za usporedbu prikazana je i kontrola. Iako kontrolnoj skupini nije dodavana voda, vrijeme do prvog pomaka bilježeno je na isti način i istovremeno s drugim dvjema pokusnim skupinama. Horizontalne crte u pravokutniku označavaju medijan. × – označavaju ekstremne (netipične) vrijednosti varijable. Pravokutnici označavaju interkvartilne raspone. Okomite crte označavaju minimalne i maksimalne vrijednosti.

Wilcoxon Signed-Rank test za razlike u vremenu do prvog pomaka između prvog i drugog dodavanja vode nije pokazao statističku značajnost ni za jednu od skupina. Kruskal-Wallis test za razlike među skupinama za oba dodavanja vode nisu statistički značajne. Najbrže reagiraju na drugo dodavanje vode iz akvarija sa zvjezdačom, a najsporije na prvo dodavanje vode iz akvarija s razbijenim ježincem. Na vodu iz akvarija sa zvjezdačom najbrža reakcija nakon prvog dodavanja vode je nakon dvije minute, a nakon drugog dodavanja jednu minutu. Najsporija reakcija je 30 minuta za prvo dodavanje vode, a devet minuta za drugo. Prosječna brzina reakcije na prvo dodavanje vode je devet minuta, medijan šest, dok je na drugo dodavanje prosječna brzina četiri minute, kao i medijan. Na vodu iz akvarija s razbijenim ježincem najbrža reakcija nakon prvog dodavanja vode je nakon dvije minute, a nakon drugog dodavanja tri minute. Najsporija reakcija je 15 minuta za prvo i drugo dodavanje. Prosječna brzina reakcije na prvo dodavanje vode je sedam minuta, kao i medijan, dok je na drugo dodavanje prosječna brzina sedam minuta, a medijan pet.

4.2. Pomak po skupinama

Ukupni pomak za svaku skupinu prikazan je na Slici 10.

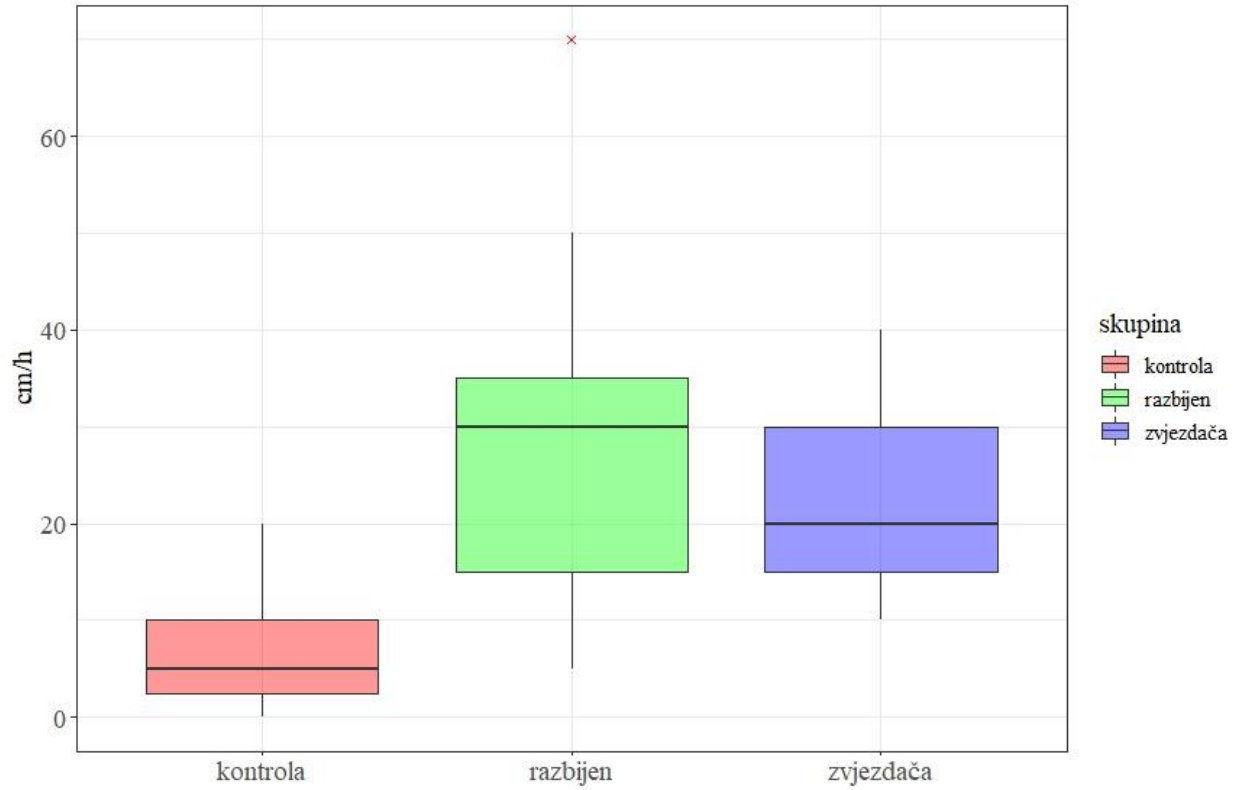
Grafički prikaz pokazuje da su se u vremenu promatranja od dva sata, najmanje su se pomicala jedinke iz kontrolne skupine, a najviše jedinke kojima je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem. Kruskal-Wallis test pokazao je značajnu razliku među skupinama ($H=13,474$, $p=0.001$). Jedinke kojima je dodavana voda iz akvarija sa zvjezdačom pomicala su se nešto manje od onih kojima je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem, ali prema Mann-Whitney U testu razlike nisu statistički značajne. Razlike u ukupnom pomaku između svake pokusne skupine zasebno i kontrolne skupine pokazale su se statistički značajne (Mann-Whitney U test: zvjezdača naspram kontrola: $p=0,001$; razbijen naspram kontrola: $p=0.006$). Najveći ukupni pomak među jedinkama kojima je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem je 140,0 cm, a najmanji 10,0 cm. Prosječni pomak je 58,9 cm, a medijan 60,0 cm. Najveći ukupni pomak među jedinkama kojima je dodavana voda iz akvarija sa zvjezdačom je 80,0 cm, a najmanji 20,0 cm. Prosječni pomak je 45,6 cm, a medijan 40,0 cm. Najveći ukupni pomak među jedinkama iz kontrolne skupine je 40,0 cm, a najmanji 0,0 cm. Prosječni pomak je 15,3 cm, a medijan 10,0 cm.



Slika 10. Prikaz pomaka po skupini. Horizontalne crte u pravokutniku označavaju medijan. × – označavaju ekstremne (netipične) vrijednosti varijable. Pravokutnici označavaju interkvartilne raspone. Okomite crte označavaju minimalne i maksimalne vrijednosti.

4.3. Brzine po skupinama

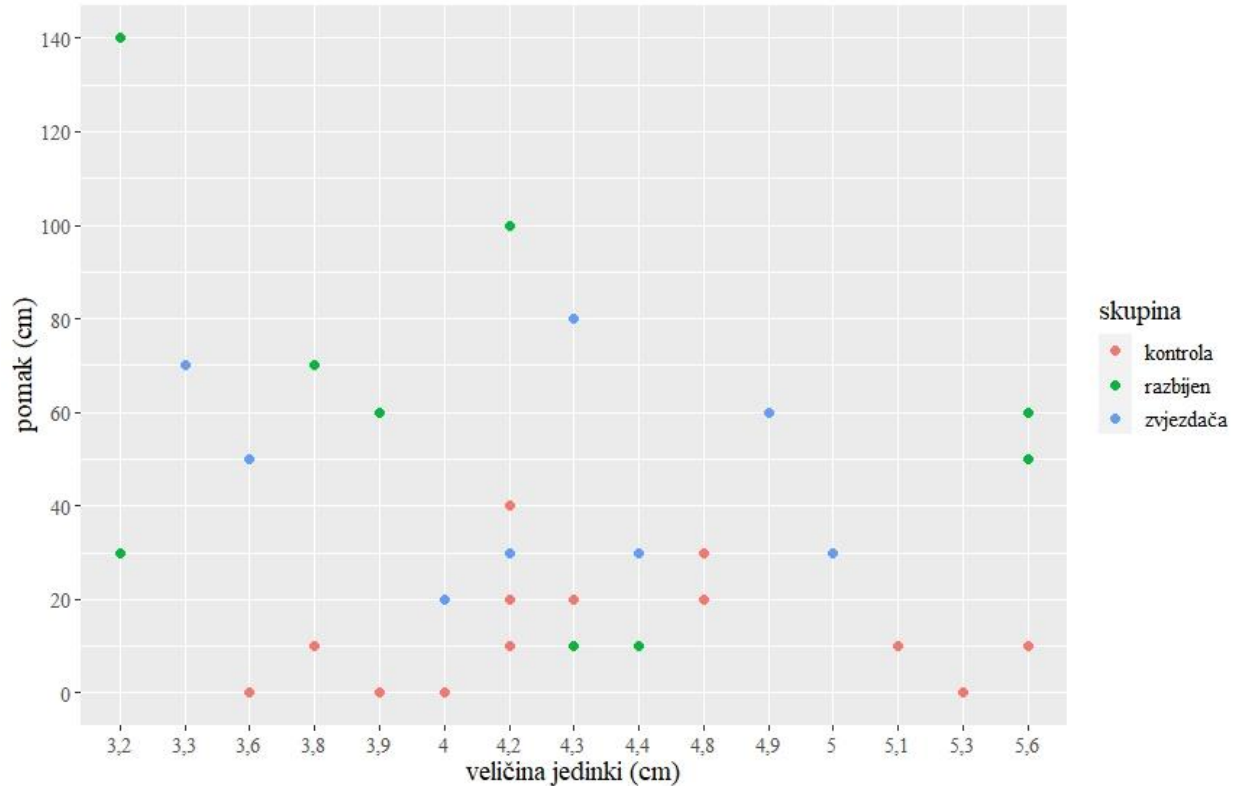
Grafički prikaz podataka pokazuje da je najveću prosječnu brzinu kretanja imala je grupa kojoj je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem, 29,4 cm/h (Slika 11). Nešto manju prosječnu brzinu imala je grupa kojoj je dodavana voda iz akvarija sa zvjezdačom, 22,8 cm/h. Najmanju prosječnu brzinu kretanja imala je kontrolna grupa, 7,7 cm/h. Kruskal-Wallis test pokazao je da su razlike među skupinama statistički značajne ($H=13,350$, $p=0,001$). Mann-Whitney U test pokazao je da razlika između pokusnih skupina nije statistički značajna, ali između pojedine pokusne skupine i kontrolne skupine jest (zvjezdača naspram kontrolna: $p=0,001$; razbijen naspram kontrolna $p=0,005$).



Slika 11. Prikaz brzina po kategorijama. Horizontalne crte u pravokutniku označavaju medijan. × – označavaju ekstremne (netipične) vrijednosti varijable. Pravokutnici označavaju interkvartilne raspone. Okomite crte označavaju minimalne i maksimalne vrijednosti.

4.4. Odnos veličine i pomaka

Veličine jedinki i njihovi ukupni pomaci prikazani su na Slici 12.

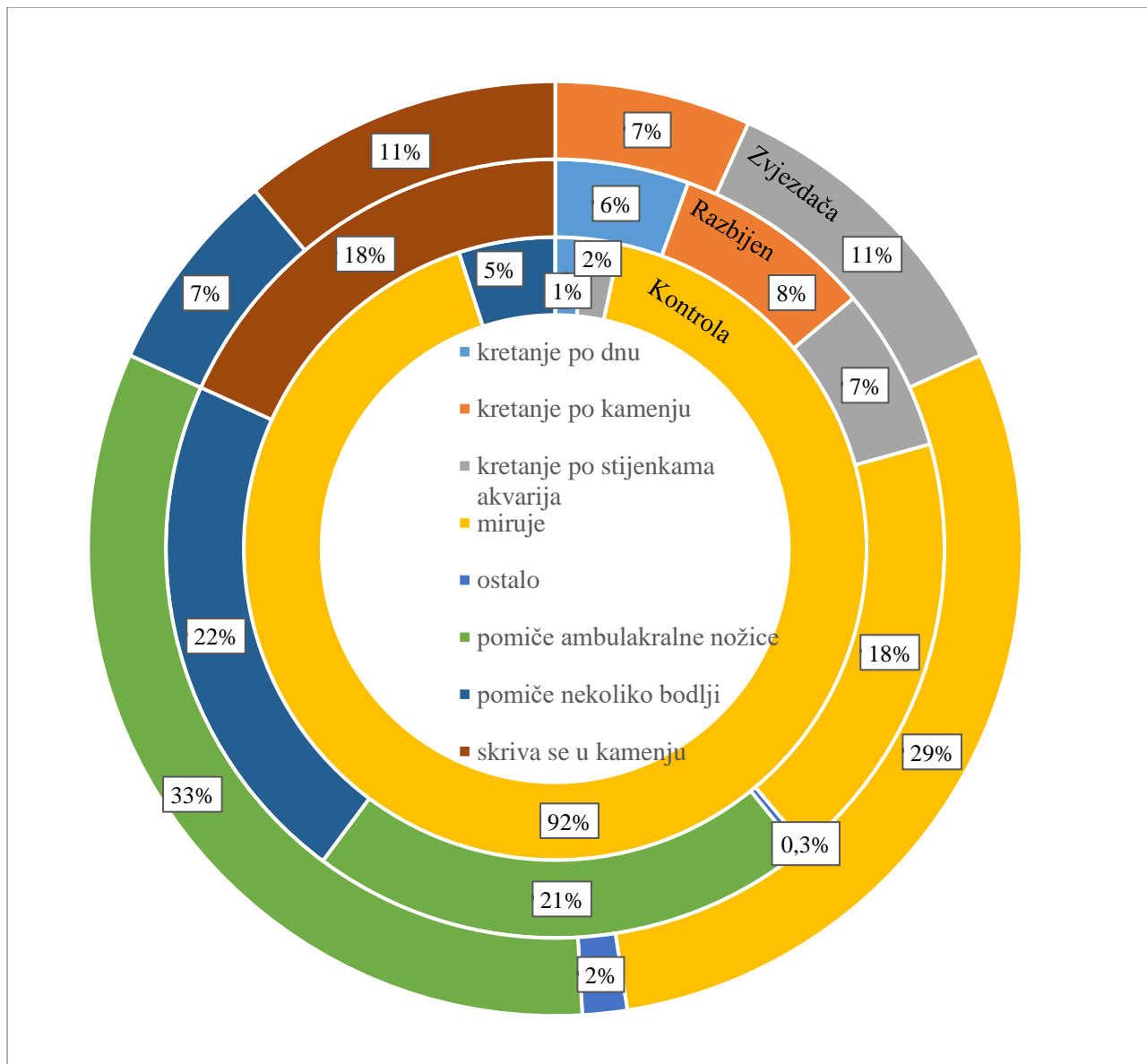


Slika 12. Prikaz ukupnog pomaka po jedinci za sve skupine. Prikazane vrijednosti su ukupni postignuti pomak kroz dva sata. Točke za tri ježinca se preklapaju, jer su iste veličine i napravili isti pomak – jedan razbijen: 5,6 i 60 cm i dva iz kontrole: 4,2 i 40 cm te 4,8 i 20 cm.

Najmanji izmjereni promjer ježinca bio je 3,2 cm, a najveći 5,6. Grafički prikaz podataka ukazuje da su jedinice iz kontrolne skupine imale su najmanji pomak, neovisno o veličini, dok se jedinice kojima je dodavana voda iz akvarija sa zvjezdačom pomiču se podjednako, neovisno o veličini. Kod jedinki kojima je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem vidljiv je trend većeg pomaka naspram od većih. Međutim, Spearman's Rho test nije pokazao statistički značajni utjecaj veličine jedinki na pomak.

4.5. Najčešći obrasci ponašanja i razlike po skupinama

Zastupljenost obrazaca ponašanja za svaku skupinu prikazana je na Slici 13.



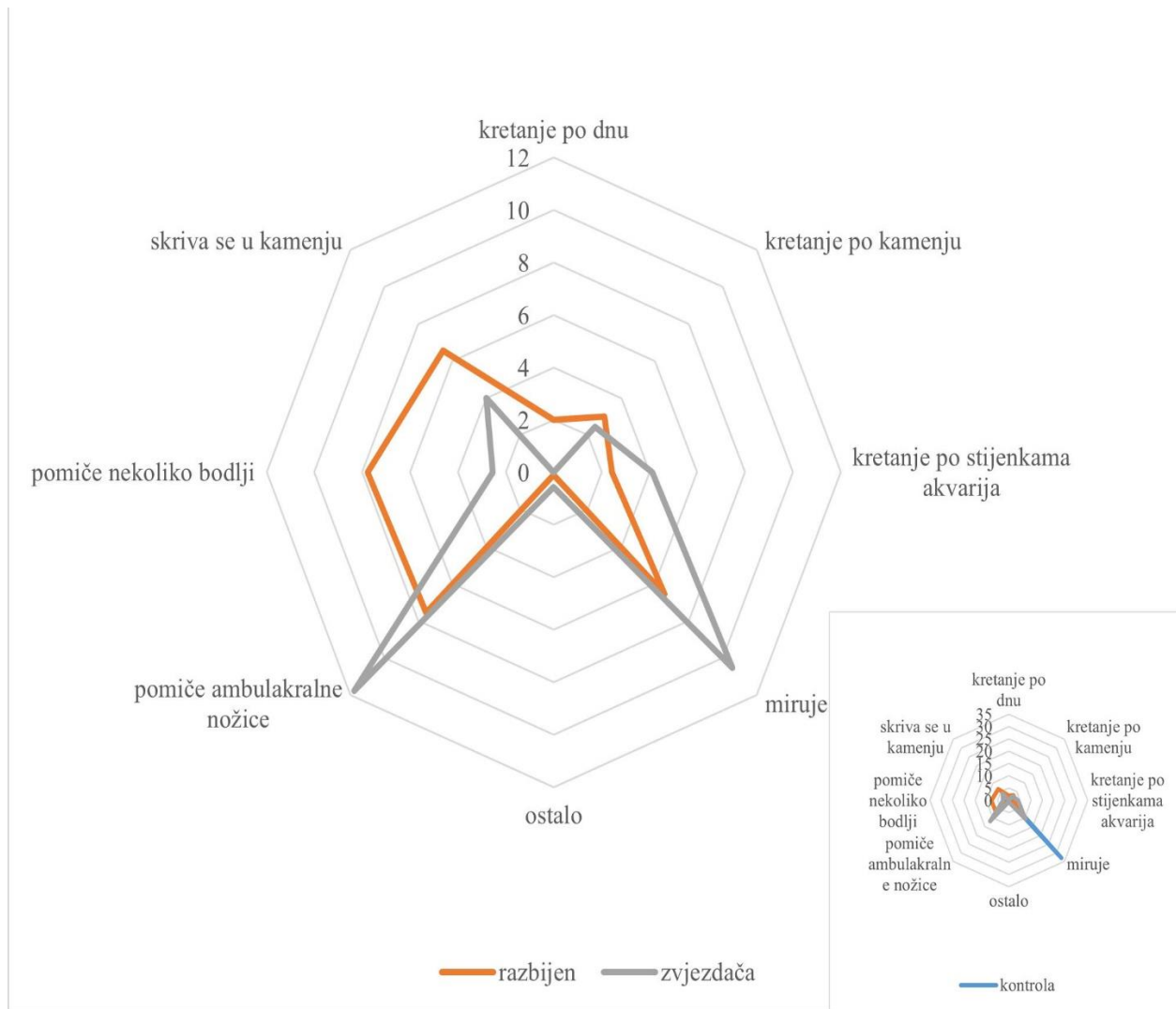
Slika 13. Zastupljenost tipa ponašanja po skupini. Skupine: zvjezdača (vanjski prsten), razbijena (srednji prsten), kontrolna skupina (unutarnji prsten).

Uvidom u sliku 13. vidljivo je da kod kontrolne skupine dominira mirovanje, zatim pomicanje nekoliko bodlji pa kretanje po stijenkama akvarija. Kod skupine kojima je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem nema dominantnog ponašanja kao kod kontrolne skupine, već je podjednako zastupljeno pomicanje nekoliko bodlji i ambulakralnih nožica, nešto rjeđe skrivanje u kamenju i mirovanje, zatim kretanje po stijenkama akvarija, dnu i kamenju i najrjeđe kretanje po dnu i trganje algi s kamenja, što je stavljeno u kategoriju „ostalo“. Kod skupine kojoj je dodavana

voda iz akvarija sa zvjezdačom također nema dominantnog ponašanja kao kod kontrolne skupine, nego je podjednako zastupljeno pomicanje ambulakralnih nožica i mirovanje, zatim kretanje po stijenkama akvarija i skrivanje u kamenju, pa nešto rjeđe kretanje po kamenju i pomicanje nekoliko bodlji. Pod „ostalo“ kod ove skupine je zabilježeno izranjanje na površinu te hvatanje, držanje i puštanje data-loggera.

Uočene su razlike u ponašanju između dvije pokusne skupine (Slika 14). Ponašanje skupine kojoj je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem raznolikije je od one kojoj je dodavana voda iz akvarija sa zvjezdačom. Pomicanje ambulakralnih nožica i mirovanje često su zabilježeni kod obje pokusne skupine. Pokretanje nekoliko bodlji i skrivanje u kamenju češće su zabilježeni kod skupine kojoj je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem. Kretanja po dnu, kamenju i stijenkama akvarija su, naspram prethodno navedenih obrazaca, rjeđe bilježena kod obje pokusne skupine. Kod obje pokusne skupine najrjeđe su zabilježena ostala ponašanja.

Iako su vidljive razlike u obrascima ponašanja među skupinama, Kruskal-Wallis nije pokazao statističku značajnost.



Slika 14. Razlike u ponašanju među skupinama. Radi preglednosti razlika među pokusnim skupinama, kontrolna skupina prikazana je samo na manjem umetnutom grafu, zbog izrazito prevladavajućeg mirovanja.

5. Rasprava

Unatoč relativno malom broju jedinki koje su korištene u pokusu, dio rezultata je pokazao statističku značajnost. Mali uzorak korišten je u raznim istraživanjima kretanja i ponašanja na bodljikašima (npr. Lawrence 1991, Morishita i sur. 2009, Savy 1987), kao i ostalim beskralježnjacima (npr. Harvey i sur. 2018, Pflkryl i sur. 2012, Růžičková i Veselý 2016), čak i kralježnjacima (npr. Casale i sur. 2012), stoga veličina uzorka u ovom eksperimentu ne predstavlja izuzetak od prakse.

5.1. Pomak

Vrijeme do prvog pomaka

Iako razlike u vremenu do prvog pomaka između i unutar skupina nisu statistički značajne, vidljiv je trend da obje pokusne skupine brže reagiraju nakon drugog dodavanja vode. To može biti posljedica toga da su do drugog dodavanja vode već pod stresom zbog prvog dodavanja pa su spremnije reagirati. Također, drugim dodavanjem vode povećala se koncentracija kemijskih signala predatora ili ozlijeđene jedinke, što može uzrokovati bržu reakciju, jer okoliš postaje sve stresniji. Povećanje koncentracije kemijskih signala predatora bi u prirodnim uvjetima značilo približavanje predatora ili dolazak više predatora – to je uznemirujuće te imaju više razloga za bijeg ili skrivanje (Barbosa i Castellanos 2005). Isto tako, povećanje koncentracije kemijskih signala ozlijeđene jedinke iste vrste može značiti veću količinu opasnosti u okolišu (Barbosa i Castellanos 2005). Najbrža reakcija upravo na drugo dodavanje vode iz akvarija sa zvjezdačom ukazuje na to da ih približavanje ili povećanje broja predatora najviše uznemiruje. Nešto sporije reakcije na drugo dodavanje vode iz akvarija s razbijenim ježincem ukazuju na to da je direktan miris predatora ipak nešto jači poticaj nego samo miris ozlijeđene jedinka iste vrste (vidjeti dalje u raspravi). Kontrolna skupina ima nasumična vremena pomaka, što je u skladu s očekivanjima jer nije bila tretirana nikakvim kemijskim signalima. U svim akvarija su cijelo vrijeme radile pumpe za zrak koje su miješale vodu, pa su kemijski signali bili jednoliko raspoređeni u cijelom akvariju.

Ukupni pomak po skupini

Statistički značajni utjecaj skupina na pomak pokazuje da je dodavanje kemijskih signala uzrokovalo promjene ponašanja kod ježinaca te da uočene razlike u odnosu na kontrolu nisu slučajne. Odnosno, ježinci pokazuju znakove porasta kretanja i zbog dodavanja vode iz akvarija u kojem je bila zvjezdača i vode iz akvarija u kojem je bio razbijen hridinski ježinac, naspram kontrolne skupine kojoj nisu dodavani nikakvi kemijski signali. Kontrolna skupina ima najmanji ukupni pomak, sukladno očekivanjima, jer nije stresirana kemijskim signalima predatora niti ozlijeđene jedinke iste vrste. Medijan za ukupni pomak iznosi 10 cm kroz vrijeme promatranja od dva sata, što je u skladu s uobičajenim kretanjem hridinskog ježinca u prirodnim uvjetima (Boudouresque i Verlaque 2001). Višestruko veći pomaci kod pokusnih skupina također su u skladu s očekivanjima, jer je kretanje u svrhu bijega ili traženja skloništa od predatora uobičajena reakcija na osjećaj ugroženosti (Barbosa i Castellanos 2005). Također, medijan vrijednosti za ukupni pomak kod obje pokusne skupine veći je od uobičajenog kretanja u prirodnim uvjetima. Ukupni pomak i njegova varijanca veći su kod skupine kojoj je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem, nego kod skupine kojoj je dodavana voda od zvjezdače, ali razlika nije statistički značajna. To bi moglo ukazivati na veću uznemirenost jedinki koje osjete kemijski signal ozlijeđene jedinke. Moguće je da takvo ponašanje ima veze s činjenicom da predatorske ribe love u skupinama (Sala i Zabala 1996). Miris razbijene jedinke potencijalno može privući više predatorskih riba iz okolice i koje bi tražile sljedeći obrok, što bi moglo djelovati kao poticaj da ježinci brže reagiraju. No potrebno je detaljnije istražiti ovu tematiku u budućnosti.

Prosječne brzine po skupine

Najveće brzine kretanja zabilježene kod skupine kojoj je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem ukazuju na jaču reakciju na kemijske signale razbijene jedinke nego predatora. Razlika u brzinama između pokusnih skupina nije statistički značajna, ali između pojedine pokusne skupine i kontrolne skupine jest. Ta bi razlika mogla proizlaziti iz činjenice da su ribe okretniji i brži predatori od zvjezdača (Planes i sur. 1997, Savy 1987). Također, ribe su češće u grupama (Sala i Zabala 1996), dok su zvjezdače solitarne (Savy 1987). Za pretpostaviti je da time, u prosjeku, u istom vremenskom intervalu mogu pregledati veću površinu dna u potrazi za hranom, i da će lakše biti pronađen stoga je možda kod ježinaca evoluirala potreba da u tim slučajevima brže reagiraju. Ribe razbijaju ježince, dok zvjezdače izbacuju svoj probavni sustav na plijen (Miller i Harley 2001), što vjerojatno stvara manje raspršenih kemijskih signala koji bi privukli ostale predatore.

Odnos veličine i ukupnog pomaka

Za pokus su korištene isključivo odrasle jedinke, ali različitih veličina (3,2 – 5,6 cm), da razlike u ponašanju ne bi bile utjecane životnim stadijem jedinki, nego da se istraže potencijalne razlike među odraslima različitih veličina.

Nedostatak značajnog utjecaja veličine na ukupni pomak ukazuje na to da prisustvo kemijskih signala stvara stres kod jedinki svih veličina odraslih jedinki. No vidljiv je nešto veći ukupni pomak manjih jedinki iz skupine kojoj je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem, dok se jedinke svih veličina, kojima je dodavana voda iz akvarija sa zvjezdačom, pomiču podjednako (Slika 12).

5.2. Ponašanje

Kao i kod kretanja, među ostalim obrascima ponašanja postoji trend razlika među skupinama, iako nisu statistički značajne. Kod pokusnih skupina vidljive su puno veće promjene u ponašanju naspram kontrolne. Kretanja po kamenju, dnu ili stijenkama akvarija zastupljenija su u odnosu na kontrolnu skupinu, a kretanjem su vjerojatno pokušavali pobjeći od kemijskih signala predatora i ozlijeđene jedinke ili tražili pogodno mjesto za skrivanje u kojem bi se osjećali sigurnije. Skrivanje u kamenju je među srednje zastupljenim obrascima ponašanja, i češće je zabilježeno kod skupine kojoj je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem. To bi mogla biti posljedica toga što je ribama teže uhvatiti ježinca koji je sakriven u zaklonu nego kad bi bio na otvorenom. Tome u prilog ide i veća zastupljenost mirovanja kod skupine kojoj je dodavana voda iz akvarija sa zvjezdačom u odnosu na skupinu kojoj je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem. Najzastupljeniji obrasci kod pokusnih skupina su pomicanje ambulakralnih nožica i pomicanje bodlji. U ambulakralnim nožicama i u bodljama nalazi se najviše osjetilnih stanica (Habdija i sur. 2011). U stresnim uvjetima, njihovim pomicanjem i pružanjem pokušavaju dohvatiti što više kemijskih signala kako bi sakupili više informacija o nepovoljnim uvjetima u okolišu. U dosad provedenim istraživanjima na drugim vrstama ježinaca upravo je pomicanje vanjskih dijelova ambulakralnog sustava pokazano kao najčešći pokazatelj da je ježinac pod stresom (Campbell i sur. 2001, Hagen i sur. 2002, Morishita i Barreto 2011). Osim osjetilne funkcije, bodlje i ambulakralne nožice imaju ulogu i u kretanju, pa su ih pomicali i u svrhu pokretanja. Kod skupine kojoj je dodavana voda iz

akvarija s razbijenim ježincem, podjednako je zastupljeno i pomicanje bodlji i ambulakralnih nožica, dok je kod skupine kojoj je dodavana voda iz akvarija sa zvjezdačom pomicanje ambulakralnih nožica dominantnije. To je vjerojatno posljedica toga što se skupina kojoj je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem nešto više kretala, a za kretanje ježinci koriste prvenstveno ambulakralne nožice. Kod skupine kojoj je dodavana voda iz akvarija sa zvjezdačom, dominantno pomicanje ambulakralnih nožica, koje imaju bitniju osjetilnu ulogu od bodlji, je vjerojatno izazvano pokušavanjem lociranja i prepoznavanja predatora. Mirovanje kontrolne skupine je u skladu s očekivanjima, jer dok nije izlagana kemijskim signalima predatora nema potrebe za neuobičajenim pomicanjem (Boudouresque i Verlaque 2001).

6. Zaključci

- Ježinci reagiraju na kemijske signale predatora kvrgave zvjezdače i razbijenog ježinca svoje vrste povećanjem količine kretanja i povećanom brzinom kretanja–.
- Postoje razlike u trendu reakcija (ponašanje i kretanje) između pokusnih skupina, ali one nisu statistički značajne.
- Vidljive su indikacije da kemijski signali predatorstva utječu na obrasce ponašanja, ali razlike nisu statistički značajne.
- Kod jedinki kojima je dodavana voda iz akvarija s razbijenim ježincem manje su jedinke ostvarile veći pomak od većih. Jedinke kojima je dodavana voda iz akvarija sa zvjezdačom pomiču se podjednako, neovisno o veličini. Jedinke iz kontrolne skupine imale su najmanji pomak, neovisno o veličini. Ipak, zabilježene razlike nisu statistički značajne.
- Potrebna su daljnja istraživanja ove teme na većim uzorcima i/ili broju ponavljanja, kako bi se razjasnile indikacije i trendovi za koje statistički testovi nisu pokazali značajne razlike među skupinama.

7. Literatura

- Barbosa, P., Castellanos, I. (Ur.) (2005): Ecology of predator-prey interactions. Oxford University Press, Oxford ; New York.
- Barnes, D., Crook, A. (2001): Quantifying behavioural determinants of the coastal European sea-urchin *Paracentrotus lividus*. *Marine Biology* **138**: 1205-1212. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002270100543>
- Black, R. M. (1988): The elements of palaeontology, 2nd ed. ed. Cambridge University Press, Cambridge [England] ; New York.
- Bonaviri, C., Vega Fernández, T., Fanelli, G., Badalamenti, F., Gianguzza, P. (2011): Leading role of the sea urchin *Arbacia lixula* in maintaining the barren state in southwestern Mediterranean. *Marine Biology* **158**: 2505-2513. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1751-2>
- Boudouresque, C. F., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Thibaut, T., Verlaque, M. (2016): The necromass of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow: fate, role, ecosystem services and vulnerability. *Hydrobiologia* **781**: 25-42. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2333-y>
- Boudouresque, C. F., Verlaque, M. (2001): Ecology of *Paracentrotus lividus* Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Elsevier, 177-216. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-9309\(01\)80013-2](https://doi.org/10.1016/S0167-9309(01)80013-2)
- Bulleri, F., Bertocci, I., Micheli, F. (2002): Interplay of encrusting coralline algae and sea urchins in maintaining alternative habitats. *Marine Ecology Progress Series* **243**: 101-109. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps243101>
- Campbell, A. C., Coppard, S., D'Abreo, C., Tudor-Thomas, R. (2001): Escape and Aggregation Responses of Three Echinoderms to Conspecific Stimuli. *The Biological Bulletin* **201**: 175-185. DOI: <https://doi.org/10.2307/1543332>
- Cardoso, A. C., Arenas, F., Sousa-Pinto, I., Barreiro, A., Franco, J. N. (2020): Sea urchin grazing preferences on native and non-native macroalgae. *Ecological Indicators* **111**: 106046. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106046>
- Casale, P., Affronte, M., Scaravelli, D., Lazar, B., Vallini, C., Luschi, P. (2012): Foraging grounds, movement patterns and habitat connectivity of juvenile loggerhead turtles (*Caretta caretta*)

- tracked from the Adriatic Sea. *Marine Biology* **159**: 1527-1535. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-012-1937-2>
- Chivers, D. P., Smith, R. J. F. (1998): Chemical alarm signalling in aquatic predator-prey systems: A review and prospectus. *Écoscience* **5**: 338-352.
- Despalatović, M., Grubelić, I., Piccinetti, C., Cvitković, I., Antolić, B., Žuljević, A., Nikolić, V. (2009): Distribution of echinoderms on continental shelf in open waters of the northern and middle Adriatic Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **89**: 585-591. DOI: <https://doi.org/10.1017/S002531540900304X>
- Farina, S., Tomas, F., Prado, P., Romero, J., Alcoverro, T. (2009): Seagrass meadow structure alters interactions between the sea urchin *Paracentrotus lividus* and its predators. *Marine Ecology Progress Series* **377**: 131-137. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps07692>
- Fernandez, C., Pergent, G. (1998): Effect of different formulated diets and rearing conditions on growth parameters in the sea urchin *Paracentrotus lividus* 12.
- Guidetti, P. (2004): Consumers of sea urchins, *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula*, in shallow Mediterranean rocky reefs. *Helgoland Marine Research* **58**: 110-116. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10152-004-0176-4>
- Habdija, I., Primc Habdija, B., Radanović, I., Špoljar, M., Matoničkin Kepčija, R., Vujčić Karlo, S., Miliša, M., Ostojić, A., Sertić Perić, M. (2011): Protista-protozoa i metazoa-invertebrata. *Strukture i funkcije*. Alfa, Zagreb.
- Hagen, N., Andersen, A., Stabell, O. (2002): Alarm responses of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*, induced by chemically labelled durophagous predators and simulated acts of predation. *Marine Biology* **140**: 365-374. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002270100694>
- Harvey, D. J., Vuts, J., Hooper, A., Finch, P., Woodcock, C. M., Caulfield, J. C., Kadej, M., Smolis, A., Withall, D. M., Henshall, S., Pickett, J. A., Gange, A. C., Birkett, M. A. (2018): Environmentally vulnerable noble chafers exhibit unusual pheromone-mediated behaviour. *PLOS ONE* **13**: e0206526. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206526>
- Hirsch, S. M., Bolles, R. C. (1980): On the Ability of Prey to Recognize Predators. *Zeitschrift für Tierpsychologie* **54**: 71-84. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1980.tb01064.x>
- Jardas, I. (1996): *Jadranska ihtiofauna*. Školska knjiga, Zagreb.

- Jardas, I., Pallaoro, A., Vrgo, N., Juki, S., Dadi, V., Jardas, I., Pallaoro, A., Vrgo, N., Juki, S., Dadi, V. (2008): Crvena Knjiga Morskih Riba Hrvatske Red Book Of Sea Fishes Of Croatia 396.
- Lawrence, J. M. (1991): A chemical alarm response in *Pycnopodia helianthoides* (Echinodermata: Asteroidea). *Marine Behaviour and Physiology* **19**: 39-44. DOI: <https://doi.org/10.1080/10236249109378793>
- Lawrence Miller, J. (2001): Edible sea urchins: Biology and ecology. Department of Biology, University of South Florida.
- Levitán, D. R. (1991): Skeletal changes in the test and jaws of the sea urchin *Diadema antillarum* in response to food limitation. *Marine Biology* **111**: 431-435. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01319415>
- Ling, S. D., Scheibling, R. E., Rassweiler, A., Johnson, C. R., Shears, N., Connell, S. D., Salomon, A. K., Norderhaug, K. M., Pérez-Matus, A., Hernández, J. C., Clemente, S., Blamey, L. K., Hereu, B., Ballesteros, E., Sala, E., Garrabou, J., Cebrian, E., Zabala, M., Fujita, D., Johnson, L. E. (2015): Global regime shift dynamics of catastrophic sea urchin overgrazing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **370**: 20130269. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0269>
- LZMK (2021): Silba. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=55946>, pristupljeno 2. 3. 2022.
- Miller, S. A., Harley, J. P. (2001): *Zoology*, 5. ed.
- Morishita, V., Barreto, R. (2011): Black sea urchins evaluate predation risk using chemical signals from a predator and injured con- and heterospecific prey. *Marine Ecology Progress Series* **435**: 173-181. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps09253>
- Morishita, V. R., de Carvalho Buchmann, F. S., Christofoletti, R. A., Volpato, G. L., Barreto, R. E. (2009): Prior residence and body size influence interactions between black sea urchins. *Behavioural Processes* **80**: 191-195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2008.11.010>
- Pedrotti, M. L., Fenaux, L. (1992): Dispersal of echinoderm larvae in a geographical area marked by upwelling (Ligurian Sea, NW Mediterranean) 11.
- Planes, S., Hertel, O., Jouvenel, J.-Y. (1997): Analysis Of Condition and Swimming Performance in Juveniles of White Sea Bream, *Diplodus Vulgaris*. *Journal of the Marine Biological*

- Association of the United Kingdom **77**: 913-916. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0025315400036298>
- Přikryl, Z. B., Turčáň, M., Horák, J. (2012): Sharing the same space: foraging behaviour of saproxylic beetles in relation to dietary components of morphologically similar larvae. *Ecological Entomology* **37**: 117-123. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2012.01343.x>
- Prvan, M., Jakl, Z. (2016): Priručnik za zaštitu mora i prepoznavanje živog svijeta jadrana 310.
- Ruitton, S., Francour, P., Boudouresque, C. F. (2000): Relationships between Algae, Benthic Herbivorous Invertebrates and Fishes in Rocky Sublittoral Communities of a Temperate Sea (Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **50**: 217-230. DOI: <https://doi.org/10.1006/ecss.1999.0546>
- Růžičková, J., Veselý, M. (2016): Using radio telemetry to track ground beetles: Movement of *Carabus ullrichii*. *Biologia* **71**: 924-930. DOI: <https://doi.org/10.1515/biolog-2016-0108>
- Sala, E. (1997): Fish predators and scavengers of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in protected areas of the north-west Mediterranean Sea. *Marine Biology* **129**: 531-539. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002270050194>
- Sala, E., Zabala, M. (1996): Fish predation and the structure of the sea urchin *Paracentrotus lividus* populations in the NW Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* **140**: 71-81. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps140071>
- Savy, S. (1987): Activity Pattern of the Sea-Star, *Marthasterias glacialis*, in Port-Cros Bay (France, Mediterranean Coast). *Marine Ecology* **8**: 97-106. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1987.tb00177.x>
- Scheibling, R. E., Hennigar, A. W., Balch, T. (1999): Destructive grazing, epiphytism, and disease: the dynamics of sea urchin - kelp interactions in Nova Scotia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **56**: 2300-2314. DOI: <https://doi.org/10.1139/f99-163>
- Smith, A. B., Kroh, A. (2013): Phylogeny of Sea Urchins. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*. Elsevier, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396491-5.00001-0>
- SSS (2022): Statistics calculator. Social Science Statistics. URL: <https://www.socscistatistics.com>, pristupljeno 2. 10. 2022.

- Tomšić, S., Conides, A., Radić, I. D., Glamuzina, B. (2010): Growth, size class frequency and reproduction of purple sea urchin, *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) in Bistrina Bay (Adriatic Sea, Croatia) 12.
- Turon, X., Giribet, G., López, S., Palacín, C. (1995): Growth and population structure of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata:Echinoidea) in two contrasting habitats. Marine Ecology Progress Series **122**: 193-204. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps122193>
- Valentine, J. F., Duffy, J. E. (2006): The Central Role of Grazing in Seagrass Ecology 40.
- Vučetić, V., Vučetić, M. (1997): Climatic conditions in the Marine park of Silba. Hrvatski meteorološki časopis **32**: 27-36.
- Wisenden, B. D. (2000): Olfactory assessment of predation risk in the aquatic environment. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences **355**: 1205-1208. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2000.0668>

8. Životopis

Osobni podaci:

Ime i prezime: Paula Prpić

Datum rođenja: 02.07.1996.

Mobitel: +385915709162

E-mail: paula.prpic@gmail.com

Državljanstvo: Hrvatsko

Obrazovanje:

2019. – Diplomski studij Znanosti o okolišu, Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

2015. – 2019. Preddiplomski studij Znanosti o okolišu, Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

2011. – 2015. V. Gimnazija u Zagrebu, matematički smjer

Jezici: engleski (aktivan), talijanski (pasivan)

Radovi i poster:

Zadravec, M., Horvatić, B., **Prpić, P.**, 2019. The Balkans invaded – first record of *Ophraella communa* LeSage, 1986 (Coleoptera: Chrysomelidae) in Croatia. *BioInvasions Records* 8, 3, 521–529.

Karrer, G., Zadravec, M., Augustinus, B., Müller-Schärer, H., Sun, Y., Horvatić, B., **Prpić, P.**, Kulijer, D., 2020. Eastward spread of the ragweed leaf beetle *Ophraella communa* towards the Pannonian plain and the Balkans. 11th International Conference on Biological Invasions: The Human Role in Biological Invasions – a case of Dr Jekyll and Mr Hyde?, Vodice. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10409.83047>

Zadravec, M., **Prpić, P.**, Klarin, A., Smutni, B., 2021. Reproduction of the agile frog, *Rana dalmatina* (Fitzinger, 1838) in eastern Prigorje – preliminary results (Amphibia: Anura: Ranidae).

Međunarodna konferencija Gradski prozori u prirodu, Zagreb. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11359.38565>

Zadravec, M., Prpić, P., Smutni, B., Klarin, A., Zadravec, Mario, Zadravec, V., 2021. A contribution to the knowledge of the reptiles and amphibians in eastern Prigorje (Reptilia et Amphibia). Međunarodna konferencija Gradski prozori u prirodu, Zagreb. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18070.27209>

Projekti i članstva u udrugama:

2018. ERASMUS+ youth exchange projekt „My Green Europe“, Pazardžik

2018. ERASMUS+ youth exchange projekt „Green cities“, Atena

2015. – 2022. Udruga studenata biologije – BIUS

- 2019. – 2022. voditeljica sekcije za biologiju mora
- 2017. – 2019. voditeljica sekcije za kornjaše
- 2018. – 2020. članica nadzornog odbora
- 2021. Edukativno-istraživački projekt „Žumberak 2021.“
- 2021. Sekcija za biologiju mora, „MPA Engage“, Brijuni
- 2020. Sekcija za biologiju mora „Monitoring staništa i naselja morske cvjetnice posidonije na lokalitetima ekološke mreže Natura 2000 u Šibensko-Kninskoj županiji“, Kornati
- 2019. Edukativno-istraživački projekt „Insula Auri. 2019.“
- 2018. Edukativno-istraživački projekt „Šuma žutica 2018.“
- 2017. Edukativno-istraživački projekt „Insula Tilagus 2017.“
- 2016. Edukativno-istraživački projekt „Mura-Drava 2016.“
- Sudjelovanja na edukativno znanstvenim događajima Festival znanosti i Noć biologije (2016 – 2019)
- Aktivna članica biofoto i herpetološke sekcije

2016. – 2019. Društvo studenata biologije

- 2019. Raziskovalni tabor studenata biologije, Ivančna Gorica – sekcija za gmazove
- 2016. Raziskovalni tabor studenata biologije, Dravograd – sekcija za gmazove

2016. – 2019. Udruga Hyla

- 2019. Veze prirode/Vezi narave, Interreg V-A SI-HR – sudjelovanje na terenima
- 2018. prepariranje materijala za doprinos Udruge Hyla zbirci kornjaša Prirodoslovnog muzeja u Dubrovniku
- 2018. Monitoring jelenka, *Lucanus cervus* (Linneaus, 1758) u PP Lonjsko polje – sudjelovanje na terenima
- 2016. Istraživanje vodozemaca i gmazova na području šume Žutice – sudjelovanje na terenima

2020. – 2021. ostalo

- Biologija poskoka + faunistička istraživanja herpetofaune, kornjaša, vretenaca i leptira u Hrvatskoj – sudjelovanje na terenima

Certifikati, vještine i ostalo:

- NAUI Open Water Scuba Diver
- NAUI Advanced Open Water Diver
- NAUI Nitrox Diver
- Vozačka dozvola B kategorije
- Poznavanje i korištenje programa i programskih paketa Microsoft Office, ESRI ArcGIS (ArcMap), Photoshop i GoPro Quik
- Iskustvo u radu s entomološkim zbirkama
- Poznavanje brojnih terenskih metoda lova, sakupljanja i rada s gmazovima i kukcima
- Poznavanje terenskih metoda u biologiji mora
- Organiziranje, koordinacija i vođenje manjih i većih grupa ljudi na terenu
- Aktivna članica i natjecateljica OK Vihor, na domaćim i međunarodnim natjecanjima